

音響伝達関数を用いた PC グラウト部分未充填部の検出方法に関する基礎的検討

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○服部晋一 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田敏郎
立命館大学理工学部 正会員 内田慎哉 大阪大学大学院工学研究科 正会員 寺澤広基
大阪大学大学院工学研究科 学生会員 朝倉響

1. はじめに

ポストテンション方式のPC 構造物におけるシース内部の PC グラウト未充填部の検出手法として衝撃弾性波法がある。著者らはこれまで、音響伝達関数を導入することにより、受信波における表面波の影響を除去し、グラウトが完全未充填であるシース表面から反射される反射波を選択的に検出する手法についての検討を進めてきた¹⁾。しかしながら、PC グラウト充填施工においては、充填状況が部分的であるシースが多数想定されている。そこで、本研究では、部分的に充填された PC グラウトを対象に、一つの打撃入力を用い複数点で同時に計測した音響伝達関数を用いて、部分充填状況の評価する手法について実験的に評価することを目的とした。

2. 評価原理

弾性波が伝播・反射する弾性体構造を音響信号の伝達系としてモデル化し、波動伝播特性を記述する音響伝達関数を導入した。計測配置としては、図-1 に示すように表面波のみが計測される参照部と、表面波と反射波が計測される対象部で音響伝達関数を定義した(表-1)。

PC グラウト充填部、部分未充填部それぞれにおいて同一の衝撃入力を受信した 6 点の時刻歴波形から高速フーリエ変換 (FFT) により音響伝達関数を算出する。図-1 に計測時の打撃点 P1, 検出点 S1~S6, および打撃点 P1', 検出点 S1'~S6' の位置関係を示す。式(1), 式(2) に計測点間の伝達関数の関係を示す。

$$H_f(\omega) = \frac{Y_{12}(\omega)}{Y_{11}(\omega)} \tag{1}$$

$$H_v(\omega) = \frac{Y_{12}'(\omega)}{Y_{11}'(\omega)} = \frac{H_{01}(\omega) \cdot H_f(\omega) + T_{S2}(\omega)}{H_{01}(\omega) + T_{S1}(\omega)} \tag{2}$$

以上は S1-S2 および S1'-S2' の場合を示したが、S3-S6 および S3'-S6' についても同様の関係が成立する。音響

伝達関数 $H_f(\omega)$, $H_v(\omega)$ の差異を算出することで、表面波の影響をキャンセルし、コンクリート内部の反射波を検出することが可能になる。

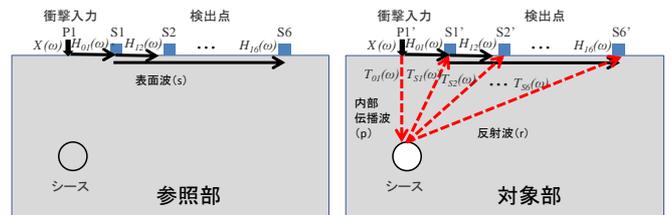


図-1 計測概要と評価原理

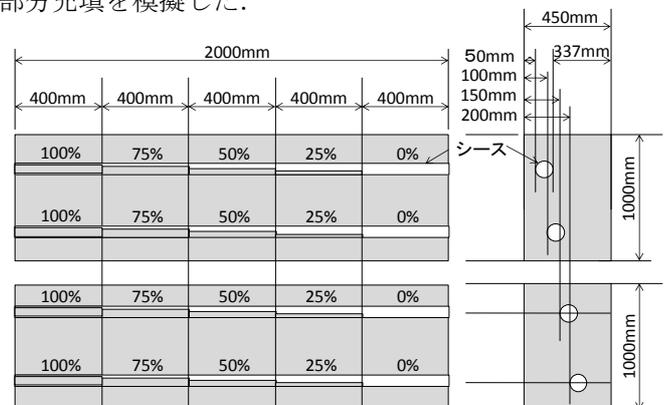
表-1 音響伝達関数の定義

表記	伝播区間	伝播する弾性波
$H_{01}(\omega)$	P1~S1 間	表面波(s)
$T_{S1}(\omega)$	P1'~シース~S1'間	内部伝播波(p),反射波(r)
$T_{S2}(\omega)$	P1'~シース~S2'間	内部伝播波(p),反射波(r)
$H_f(\omega)$	S1~S2 間	表面波(s)
$H_v(\omega)$	S1'~ S2'間	表面波(s), および 内部伝播波(p),反射波(r)

3. 実験概要

3.1 供試体

本研究で用いたコンクリート供試体の概要を図-2 に示す。供試体寸法は、縦 1000mm×横 2000mm×奥行 450mm であり、直径 $\phi 63$ mm のスパイラルシースが 50mm, 100mm, 150mm, 200mm の深さに埋設されている。充填状況の評価のために、シースは 400mm 長ごとに充填状況を 0%から 100%まで 25%ずつ変化させ、部分充填を模擬した。



図中の%表示は充填率を表す。

図-2 供試体の構造と外観

キーワード 非破壊評価, 衝撃弾性波法, PC グラウト, 音響伝達関数, 部分充填

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7618

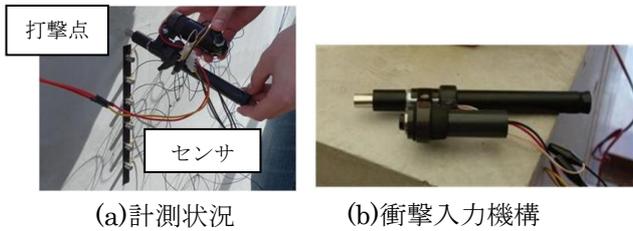


図-3 計測状況と衝撃入力機構

図-3 に計測状況を示す。打撃点 P および P' はシースの直上に設定し、検出点 S1~S6 および S1'~S6' はコンクリート面上のシース軸と直交する方向に 40mm 間隔で設定した。計測は、各計測点で 4 回行った。打撃のために使用する鋼球は直径 6mm, 10mm, 12mm, であり、電磁駆動により射出することで一定の衝撃力を与える機構を試作した。今回の実験において、参照部は同一形状の供試体で表面からの埋設深さが最も大きい 337mm の 100% 充填部とした。

3.2 音響伝達関数による評価

反射波の大きさを定量的に評価するため、対象部および参照部の伝達関数をフーリエ逆変換して得られるインパルス応答の振幅差 $\Delta h(t)$ を求め、以下の式により反射強さ (R) を導入した。

$$R = \int_0^{T_m} \{\Delta h(t)\}^2 dt \quad (3)$$

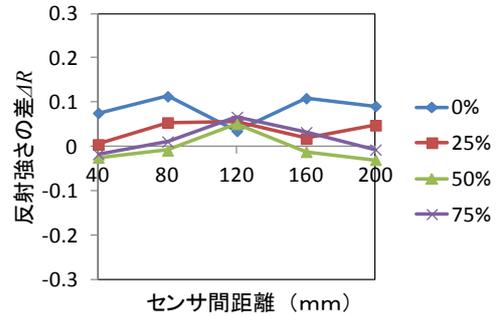
4. 実験結果および考察

式 (3) の反射強さを異なる充填率で算出し、充填率 100% の位置での反射強さとの差 ΔR を算出した。図-4 に結果を示す。図において、横軸は伝達関数を算出するセンサ間距離を示している。実験結果より、シース埋設深さに対して異なる鋼球径では反射強さの差 ΔR が変化することがわかった。図-4 は、反射強さの差 ΔR が大きく得られた鋼球径の結果を選定した。

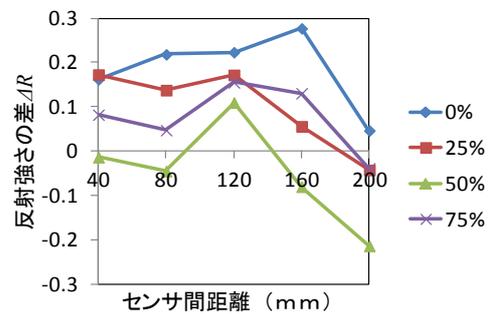
図-4 からセンサ間距離に対応して反射強さの差 ΔR が変化することがわかる。埋設深さが 50mm の場合には、充填率 0%, 25% において比較的大きい値が得られた。埋設深さが 100mm の場合には、センサ間距離 40mm ~ 160mm の範囲で充填率 0%, 25%, 75% で大きい値が得られた。しかし充填率 50% の値は他と比較し小さい値となった。埋設深さが 150mm の場合には、センサ間距離が 160mm の場合に充填率 0%, 25% のみ大きい値が得られた。

以上より、埋設深さに対応したセンサ間距離および鋼球を適切に選択することにより、部分未充填部を検出する可能性があることがわかった。ただし、反射強

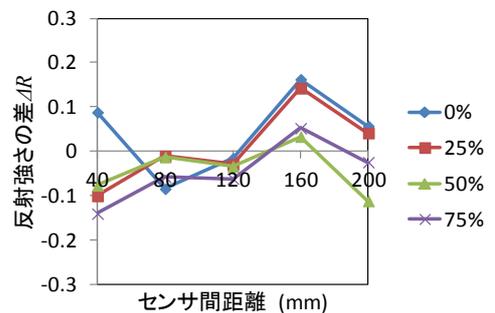
さの差 ΔR と充填率の大小関係は必ずしも対応していないため、反射強さの差から充填率を推定するためには、センサ間距離で得られる反射強さの差の変化と充填率の関係を今後解析にて調査する必要がある。



(a) 埋設深さ 50mm (鋼球径 12mm)



(b) 埋設深さ 100mm (鋼球径 10mm)



(c) 埋設深さ 150mm (鋼球径 6mm)

図-4 反射強さの差 ΔR と充填率の関係

5. まとめ

部分充填された PC グラウトに対し、異なる検出距離間の伝達関数を導入し部分未充填評価を行った。その結果、センサ間距離、鋼球径に応じて検出感度が変化することが明らかになった。また、シース埋設深さに対して適正なセンサ間距離、鋼球径を選択することで部分未充填を検出できる可能性があることがわかった。

参考文献

1) 服部晋一, 鎌田敏郎, 内田慎哉: 音響伝達関数を用いた衝撃弾性波法による PC グラウト充填状況の非破壊評価手法, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.14, pp.707-714, 2014.10